

2023년 7월 14일
고려대 미래성장연구원 개원 10주년

기후변화 위기와 그린모빌리티: 배터리 산업의 현주소와 과제

Prof. Jang Wook Choi (최장욱)
School of Chemical & Biological Engineering
Seoul National University
Seoul 08826, Korea
e-mail: jangwookchoi.snu.ac.kr

배터리 밸류체인

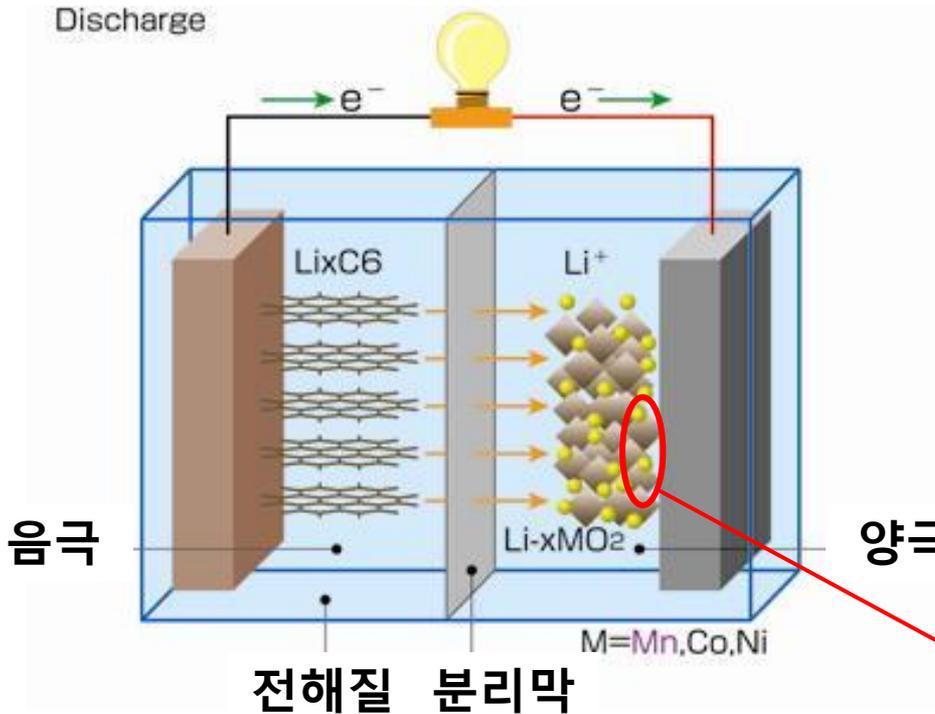


누가 사업적으로 가장 큰 재미를 볼 수 있을까?
= 누가 가격 협상력이 우위에 있을까?

격동의 전기차 시장

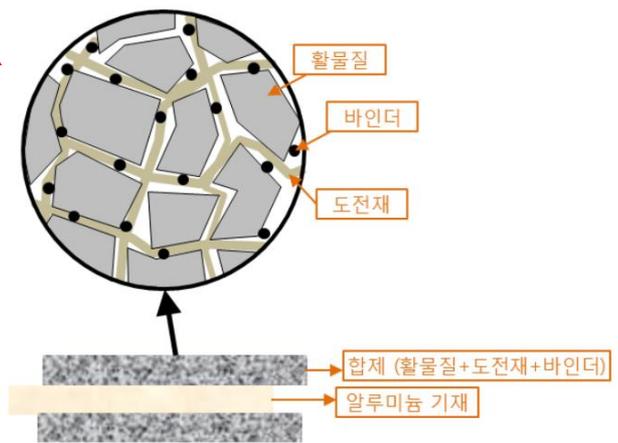
- ✓ **경제성 있는 차량 생산 & 브랜드 가치**
 - 테슬라 (영익 10~20%) vs. 포드 (전기차 부문 대형 적자)
- ✓ **주행거리에서 가격 & 양산성으로의 관점 확대**
 - + 차량에서 에너지 부문으로 확대
- ✓ **단순 차량 판매에서 구독, 서비스, 대여로 확대**
- ✓ **Fast follow가 어려움: 단순 확대 copy가 어려움**
 - 제조 공정 복잡화 & 막대한 캐패스 투자 & 소프트웨어 중심
& 노동 비용 증가

배터리 셀 구조



이차전지의 4대 구성 요소

- ✓ 양극
- ✓ 음극
- ✓ 분리막
- ✓ 전해질



전극 제조 공정



Recipe example) 97:1.5:1.5 (중량비)



배터리 개발의 어려움

- ✓ 개발시에 에너지/출력/충전속도/수명/안전성 모두를 고려해야 함.
- ✓ 모든 성능을 동시에 향상시키는 것이 어려움 (trade-off 관계)
: 한 성능을 향상시키면, 다른 성능이 안 좋아지는 경우가 대부분.
- ✓ 개별 재료 특성도 중요하지만, 요소 간의 궁합이 더 중요:
전극과 전해질 사이의 경계에서의 계면 현상이 전체 성능에 큰 영향을 줌

→ 특허가 중요하지만, 경험 기반의 제조 기술이 매우 중요

양극 기술: NCM(삼원계) vs. LFP(인산철)

The Nobel Prize in Chemistry 2019



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media.
John B. Goodenough
Prize share: 1/3

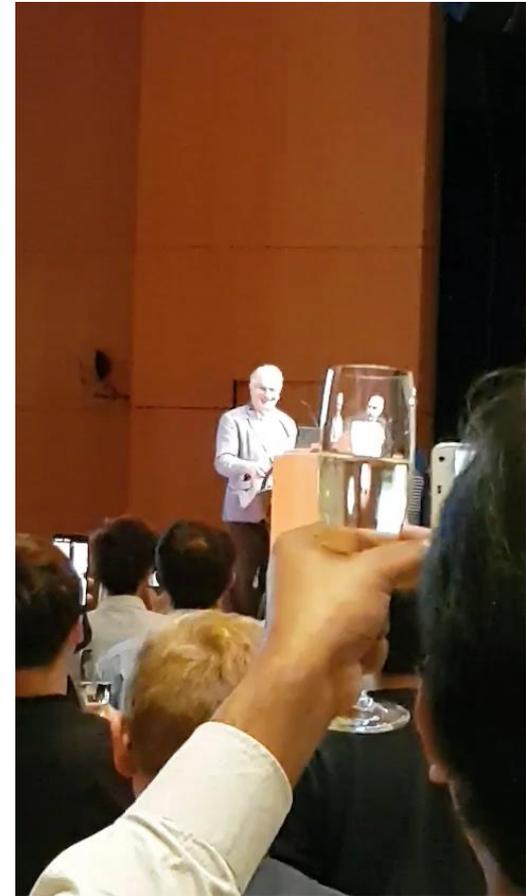


Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media.
M. Stanley Whittingham
Prize share: 1/3



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media.
Akira Yoshino
Prize share: 1/3

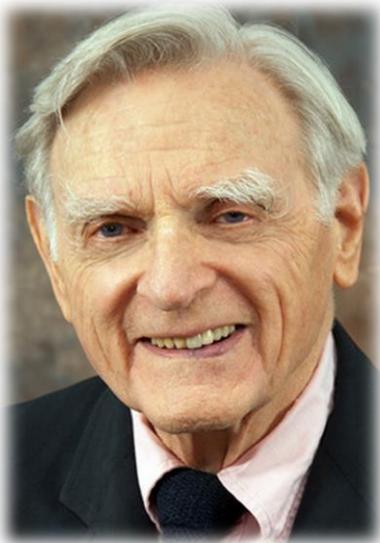
The Nobel Prize in Chemistry 2019 was awarded jointly to John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham and Akira Yoshino "for the development of lithium-ion batteries."



2019. 10. 6. Ulm, Germany

역사적 교훈: 기초 연구의 중요성

원천 특허 확보



존 B. 구디너프
John B. Goodenough (1922 ~ 2023)

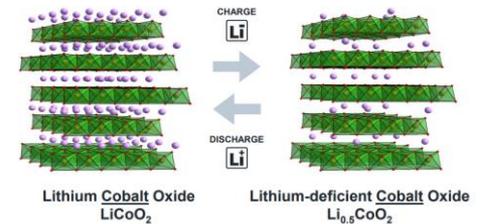
Born 1922 in Jena, Germany.
Ph.D. 1952 from the University of Chicago, USA. Virginia H. Cockrell Chair in Engineering at The University of Texas at Austin, USA.

지속적인 소재 연구 개발

• 1980년, LiCoO_2 2차원 층상 구조

[54] ELECTROCHEMICAL CELL WITH NEW FAST ION CONDUCTORS

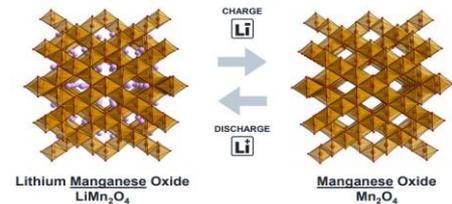
[76] Inventors: John B. Goodenough; Koichi Mizushima, both of c/o United Kingdom Atomic Energy Authority, 11 Charles II St, London SW1Y 4QP, England



• 1983년, LiMn_2O_4 3차원 스피넬 구조

[54] SOLID STATE CELL WHEREIN AN ANODE, SOLID ELECTROLYTE AND CATHODE EACH COMPRISE A CUBIC-CLOSE-PACKED FRAMEWORK STRUCTURE

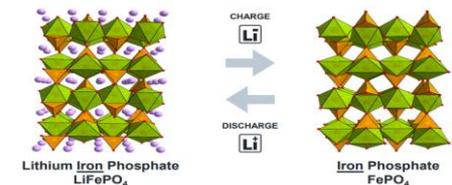
[75] Inventors: Michael M. Thackeray, Pretoria, South Africa; John B. Goodenough, Oxford, England



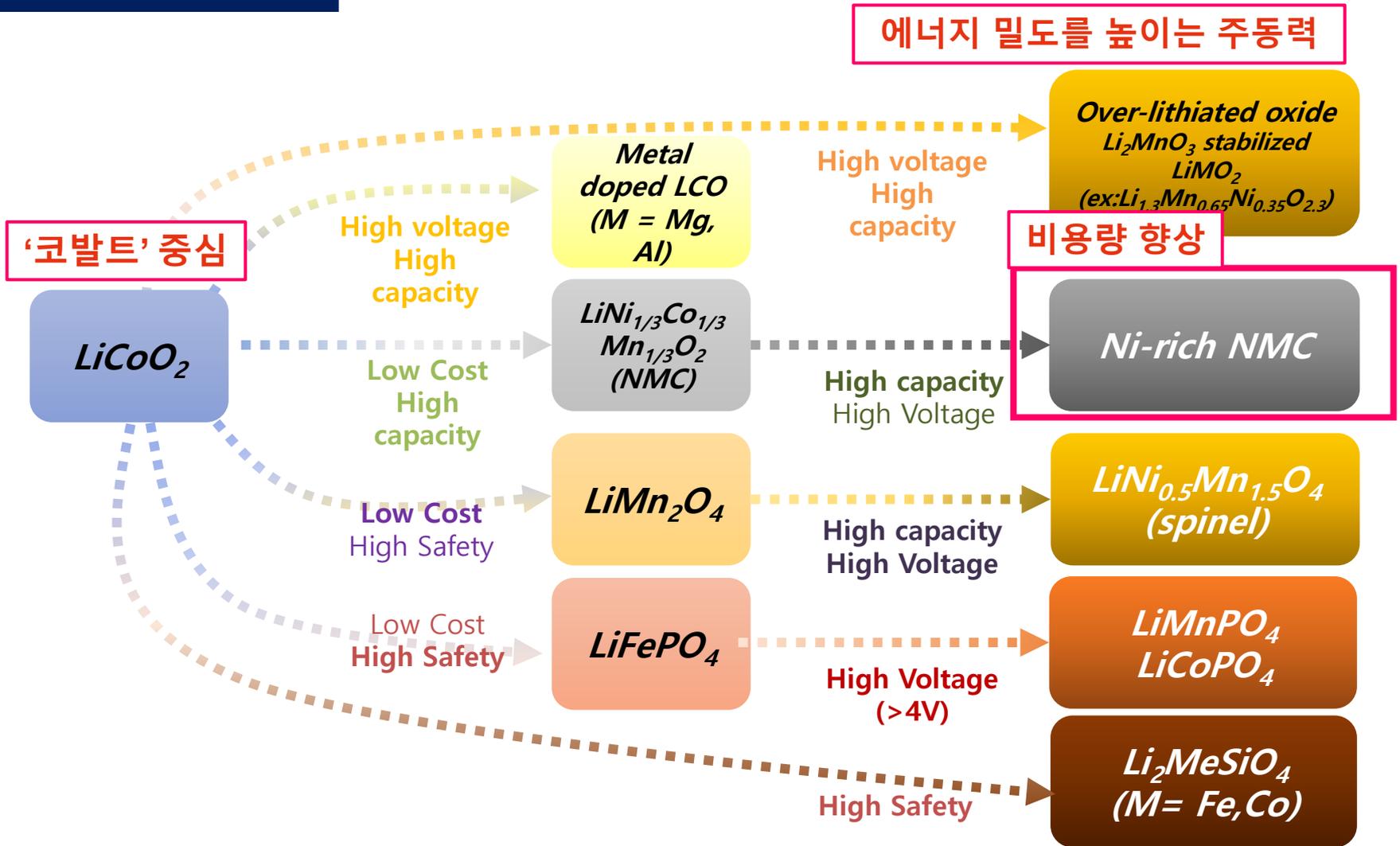
• 1996년, LiFePO_4 1차원 올리빈 구조

[54] CATHODE MATERIALS FOR SECONDARY (RECHARGEABLE) LITHIUM BATTERIES

[75] Inventors: John B. Goodenough, Austin, Tex.; Akshaya K. Padhi, LaSalle, Ill.; K. S. Nanjundaswamy, Joplin, Mo.; Christian Masquelier, Boulogne Billancourt, France



양극재 연구 동향: High-니켈계로 K-Battery!



원자재 가격 변화 추이

니켈 & 리튬 가격 급등: 재활용으로 문제 해결 가능할 것인가?



ChosunBiz 2022년 3월

국제 > 국제경제

가격 폭등에 중단된 니켈 거래, 16일 재개

일일 가격 제한 등 거래 제한 발표할 듯

우고운 기자

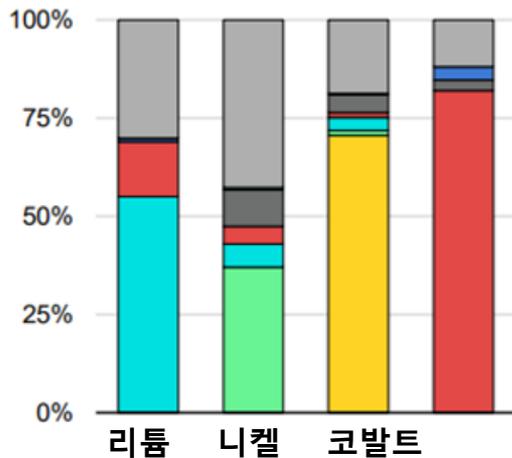
입력 2022.03.15 13:21



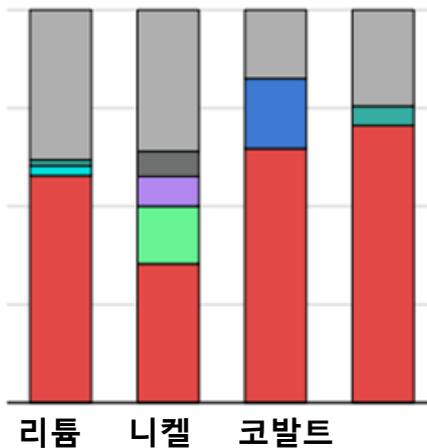
주요 광물/소재 공급망 현황

글로벌 전기차 배터리 원료 공급망 개요

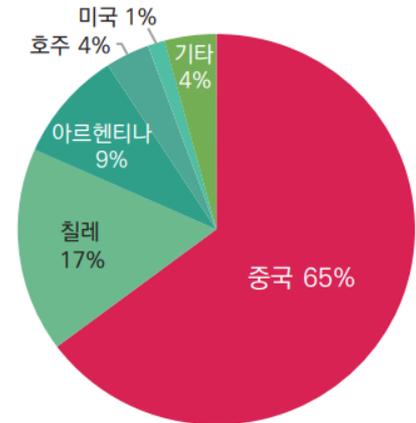
광물 별 생산량



광물 별 정/제련



리튬 주요 제련국



자료 : BNEF(2022)

■ 중국
 ■ 유럽
 ■ 미국
 ■ 일본
 ■ 한국
 ■ 콩고
 ■ 호주
 ■ 인도네시아
 ■ 러시아
 ■ 기타

배터리 원료 광물의 중국 지배력

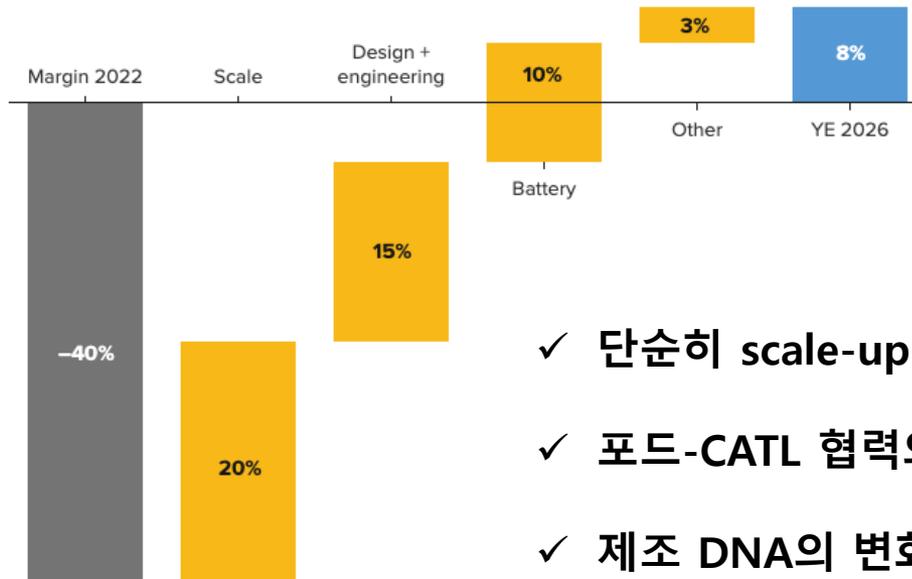
- ✓ 중국이 배터리 핵심 광물 정/제련 부분에서 모두 1위를 차지
- ✓ 중국의 공급망으로부터 벗어나기 위해서는 광물 공급 경로 구축 및 자체 가공 기술 확보가 필요



How Ford plans to turn a profit on EVs in under four years

PUBLISHED THU, MAR 23 2023-3:52 PM EDT | UPDATED THU, MAR 23 2023-4:39 PM EDT

Ford's plan to get its Model e EBIT margin to 8% by the end of 2026



- ✓ 단순히 scale-up을 해도 적자임 (방점은 배터리 가격 절감)
- ✓ 포드-CATL 협력의 배경: 값싼 소재에 대한 선호도 급증
- ✓ 제조 DNA의 변화 필요?

Chart: Gabriel Cortes / CNBC
Source: Company reports

LFP : 가격 경쟁력

양극 소재 비교*

	LFP*	NCM811* 다결정	NCA (Ni88) 다결정
KWh / Liter	1.24	2.56	2.68
가격 (Kg당/USD)	11.3**	41.83**	~ 30
1KWh 셀 가격 (USD)	82.29**	103.47**	~ 100***

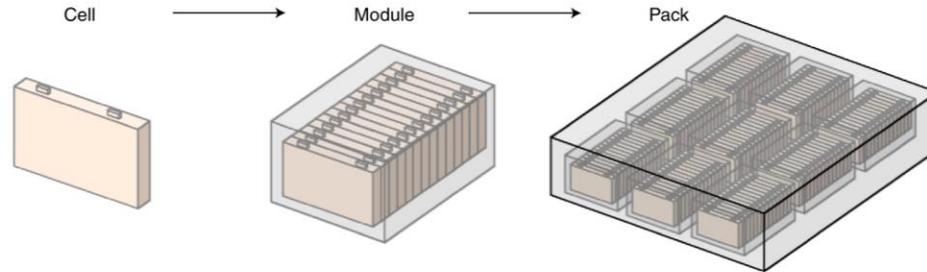
* 2021.10.15 metal 가격 기준, ** 중국UBS AG 자료 (10.15 기준), *** 추정치

➔ 리튬 가격을 경계해야 하지만 여전히 삼원계 양극 대비 낮은 가격 수준

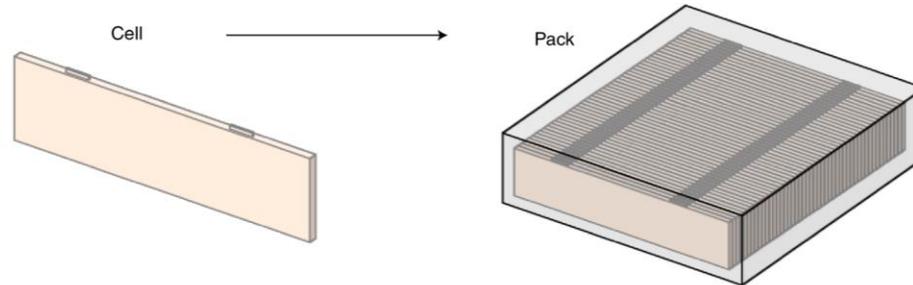


Cell To Pack (CTP)

기존 배터리:



셀투팩 배터리:



- ✓ 모듈을 구성하지 않고 '셀 - 팩' 구조로 배터리를 제작하는 방식
- ✓ 모듈 단계를 생략함으로써 VCTP가 기존 30-40%에서 60-70% 대까지 향상
- ✓ 안정성의 문제로 NCM 배터리보다 LFP 배터리에서 더 큰 주목을 받음
- ✓ CATL과 BYD를 중심으로 대세 기술로 자리잡음

요약: 양극재

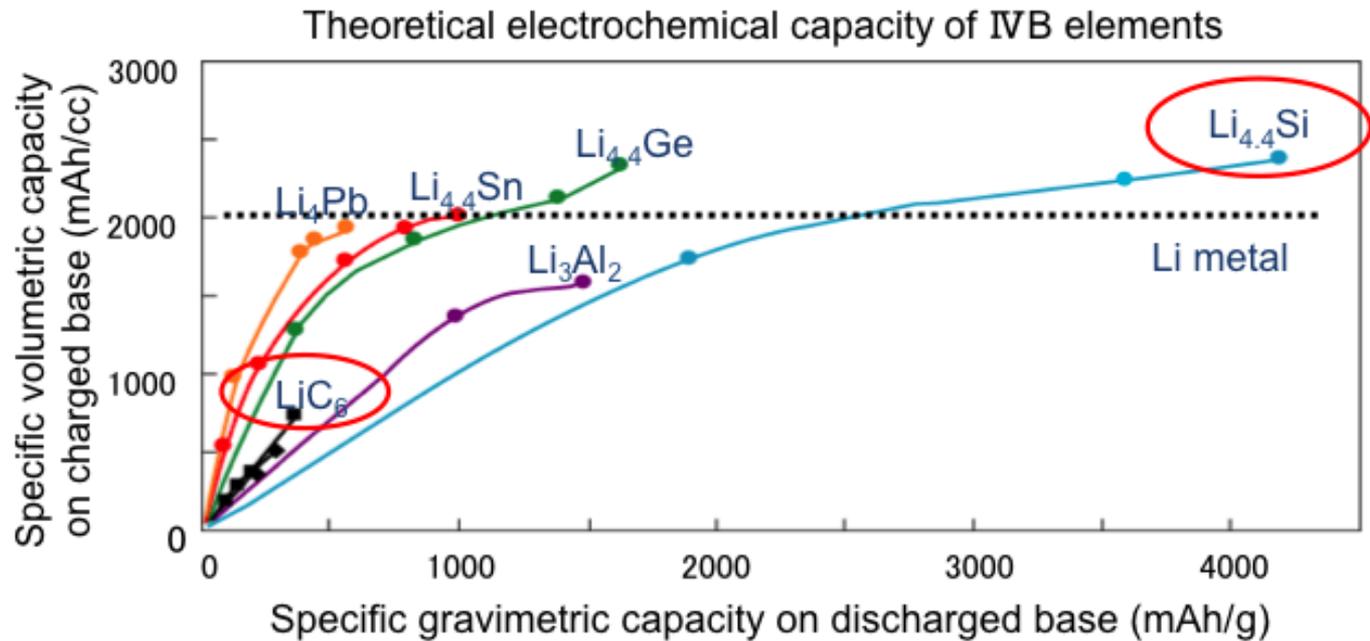
- 전통적 소재군으로서 지속적으로 진화하고 있음
- Ni-rich 소재: 주행 거리 향상에 핵심 역할
- NCM vs. LFP: Cell-to-Pack & 가격
- 광물 가격 & 원자재 매장량의 지속적인 관리 필요
- 전구체 사업 육성해야



실리콘 음극 기술: 주행거리 향상에 대표적 기술

Wish: 1회 충전당 주행거리 확장 기술

Theoretical capacity of anode candidates



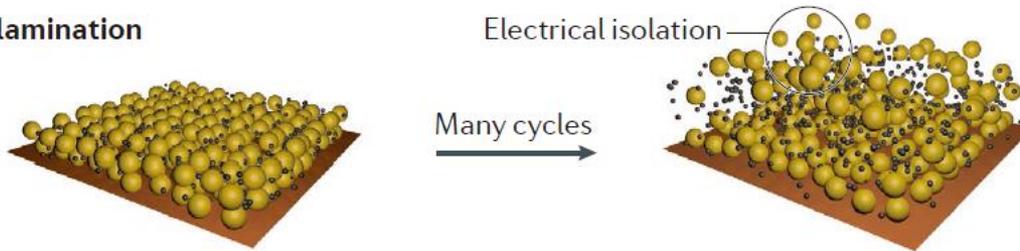
J. Electrochem. Soc., 150, A679(2003)

짧은 수명 문제: 부피팽창에서 기인

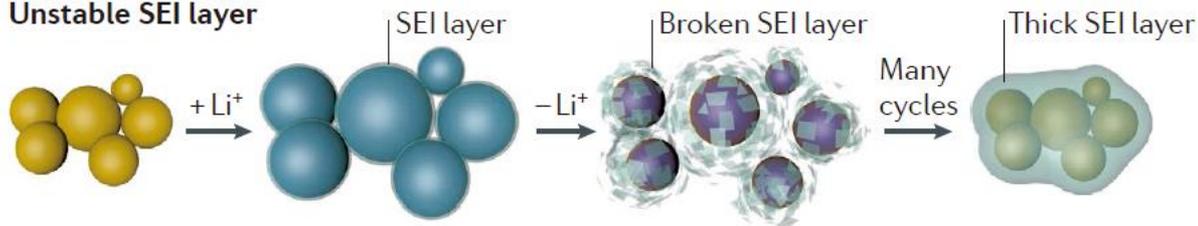
Pulverization



Delamination



Unstable SEI layer

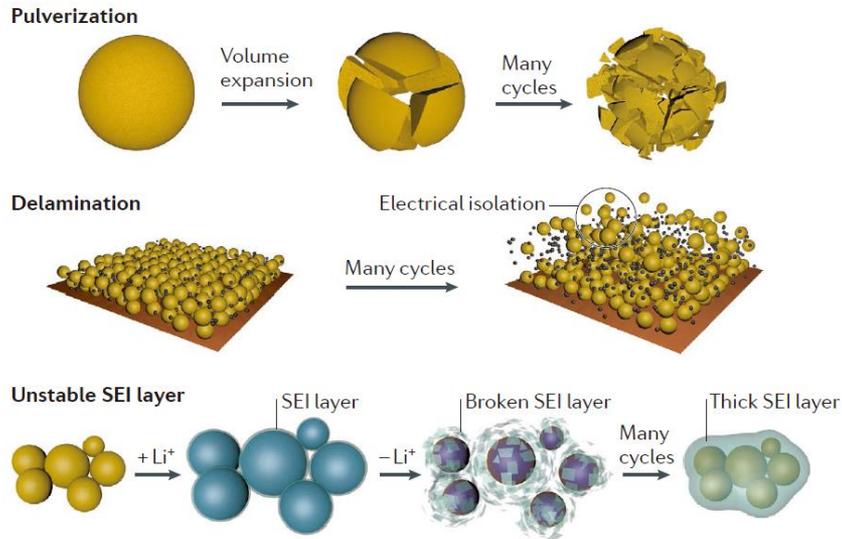


Choi & Aurbach, *Nat. Rev. Mater.*, 2016, 1, 16013

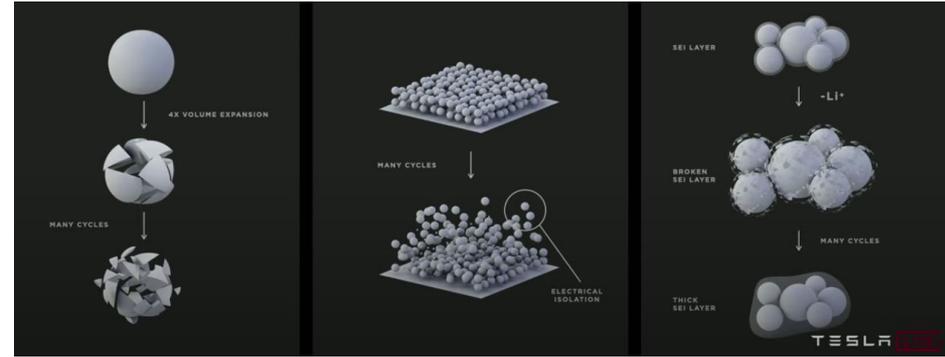
➤ 활물질 구조 및 바인더 개발



Hurdles in Si Technology: Volume Change



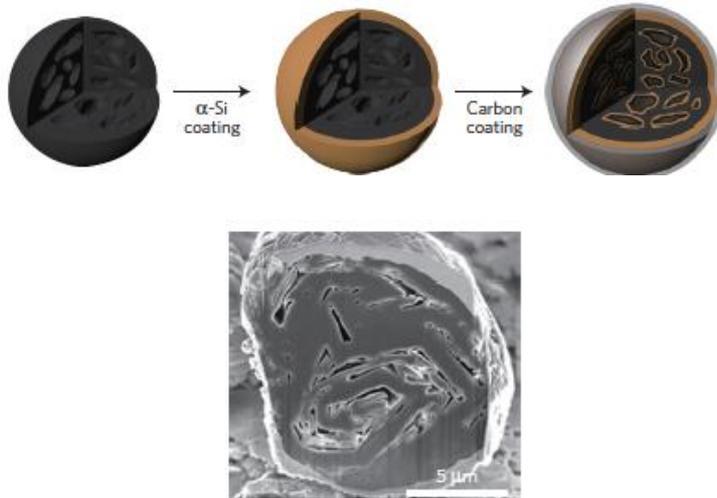
Choi & Aurbach, *Nat. Rev. Mater.*, 2016, 1, 16013



From 'Tesla Battery Day'

상용화된 실리콘 소재: 균일화된 나노 구조

실리콘-탄소(흑연) 혼합형



J. Cho *et al*, *Nature Energy*, (2016)

SiO_x ($x \sim 1$): 산화실리콘형



Carbon-coated SiO_x
(시네츠화학 자료)

셀 제조사 별로 주력 소재군 형성

요약: 실리콘 음극

- 상용화를 위한 수많은 노력
- 음극에서의 함량 꾸준히 증가 추이 (현재는 5wt% 내외)
- 고함유 실리콘 전극: 새로운 전극 구조 & 바인더 도입 필수

Overall: Real Technology! Competitive!

차세대전지 (전고체전지)

Why 차세대 전지?

내연 기관 차량  전기 자동차

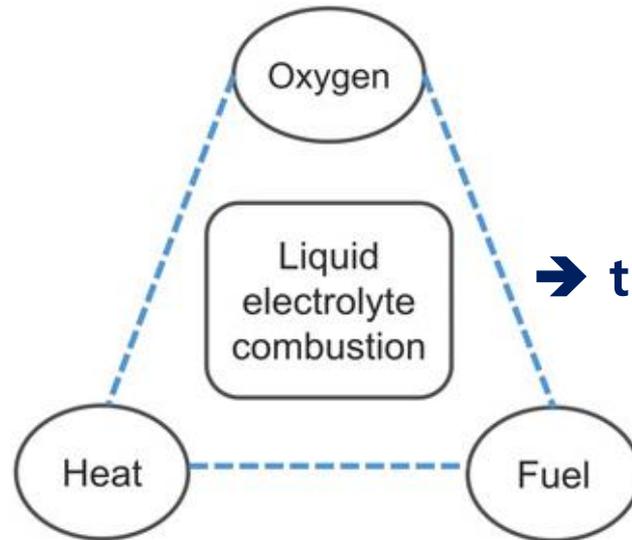
To be improved:

주행 거리, 화재 안전성

급속 충전을 공격적(<10분)으로 할 수 있다면?

리튬 이온 전지의 발화 기작

과충전시 산소 공급



열 폭주

→ thermal propagation 기술

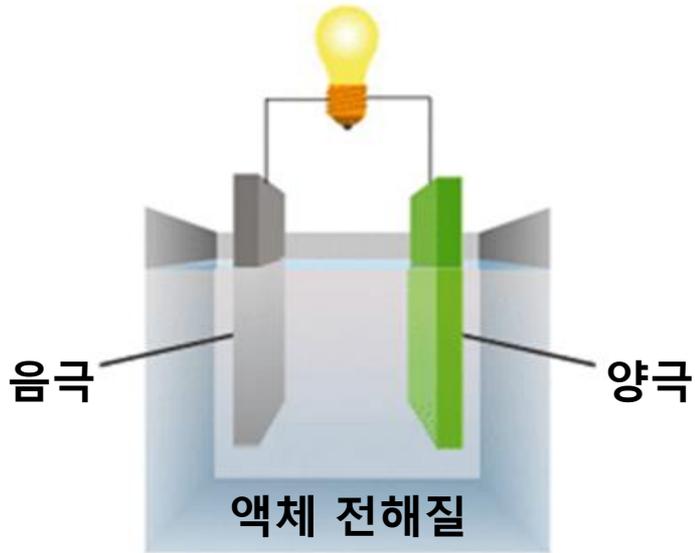
내부 단락
(공정 불량 & 잦은 과충전)

가연성 전해액

현재 리튬이온전지의 가장 큰 기술적 한계!

전고체 전지란?

기존 액체 기반



전고체 전지



전해질 소재로 고체 전해질 (Solid Electrolyte)을 사용하는 전지

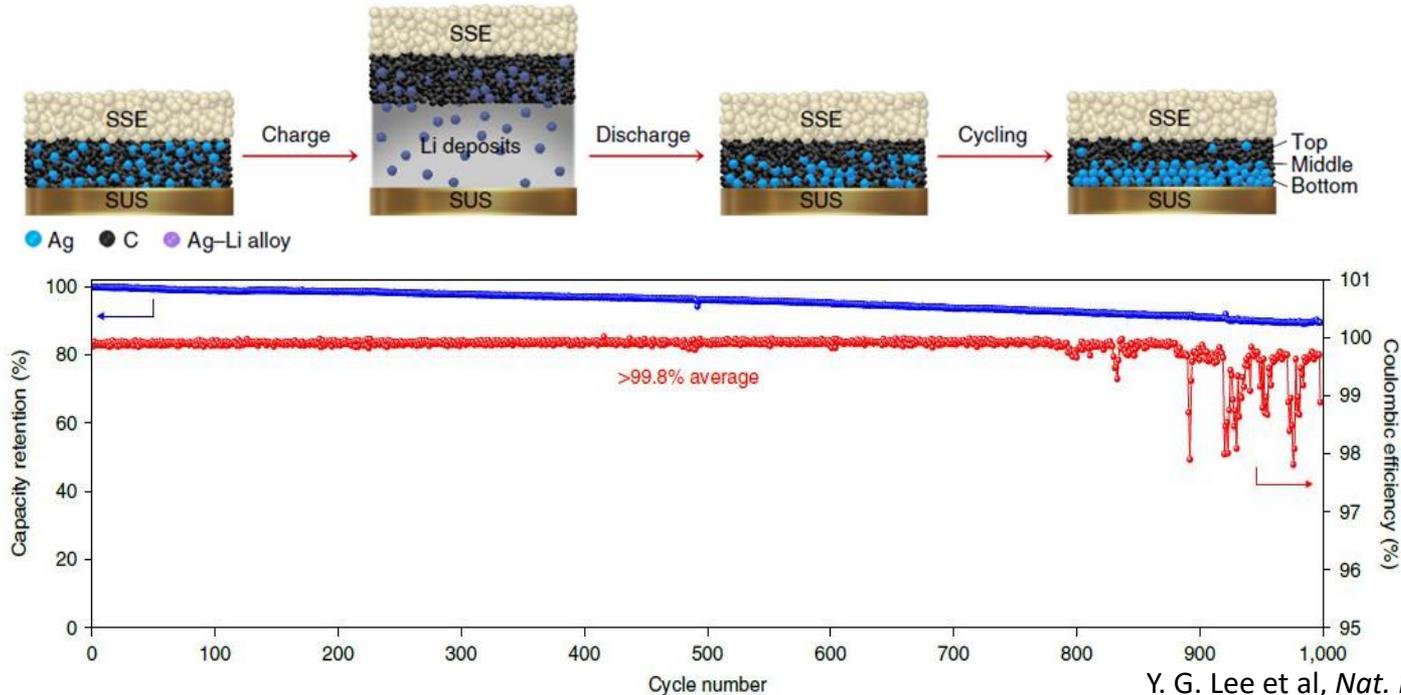
1. 발화를 근원적으로 막을 수 있음
2. 리튬 금속 전극을 채용하여 에너지 밀도 향상 가능

차세대전지: 전세계적인 투자 진행 중



- 전세계적인 적극적인 관심 & 투자
- 새로운 주도권을 확보하려는 노력

State of the Art 기술 1: 무음극



Y. G. Lee et al, *Nat. Energy* (2020)
삼성종합기술원 2020년 3월 보고 내용

- 은 나노입자 (Ag NP)가 응집핵으로 사용되어 균일한 리튬 금속 증착을 이룸
- 0.6Ah 용량 파우치 + 99.8% 쿨롱 효율 + 1000 cycle 수명
- 고온 (60°C), 저속 (0.2C)에서만 제대로 작동하는 한계 존재
- 최초 상용화 타겟으로 무음극의 적합성 검토 필요

전고체 전지의 핵심 기술

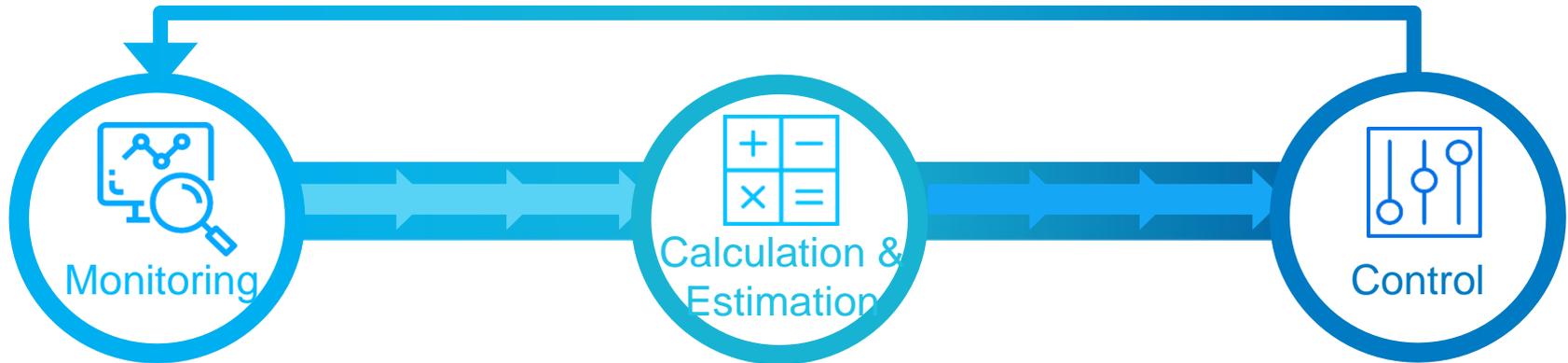
- 안정 전압 범위가 넓은 황화물 고체 전해질 조성
(기존 특허 능가 가능성?)
- 상온 & 저압 구동 기술 (계면 안정성 & 반응성)
- 양산화 기술 (습식 or 건식): 결국은 제조 수율이 관건이 될 수도
- 리튬 이온 전지의 진화를 지속적으로 관찰해야

Battery Management System (BMS): 지능화된 배터리 운전

전기차 운전시의 궁금증

- 남은 배터리 잔량을 얼마나 신뢰할 수 있을까(충전심도)?
- 배터리의 남은 수명?
- 화재 위험?
- 운전 습관이 미치는 영향?

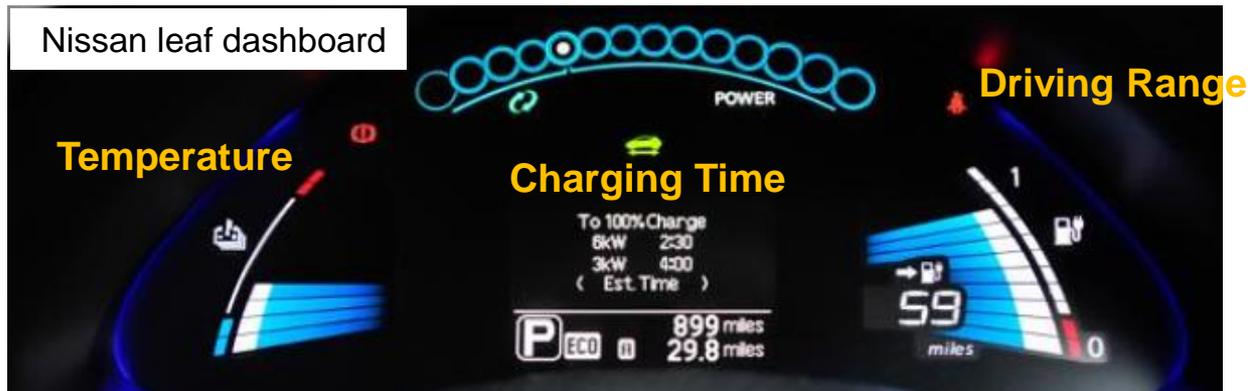
BMS (Battery Management System)



- Temperature
- Voltage
- Resistance
- Current

- Charge/Discharge State
- Life Time
- SOH (State of Health)
- SOS (State of Safety)

- Heat control
- Cell Balancing
- Safety Control



Toward monitoring accurate battery state

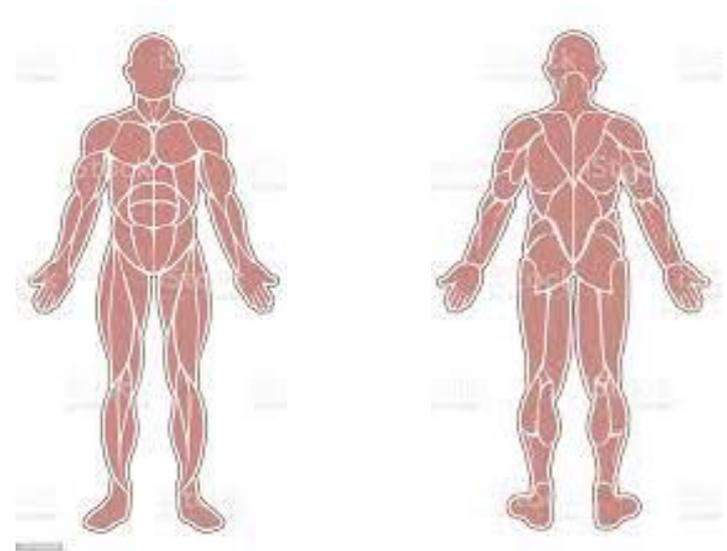
완벽한 배터리를 제조할 수 있을까?

No!

지능화된 운전 알고리즘이 필요

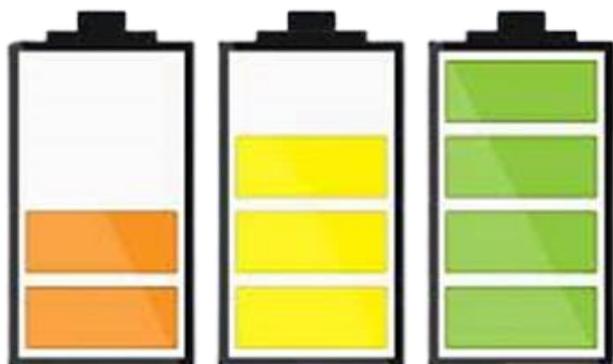
제조 vs. 진단/운전

인체 건강 검진과의 유사성



비슷해 보이지만...
심각하게 다른 건강 상태일 수 있음

인체 건강 검진과의 유사성: “진단”



배터리 건강 검진

1차 진단

전류
전압
온도
충전심도
...

심층 진단

변수 정립 필요
→ 난이도 높음!!!

의료 정밀 진단 체계와 유사한 방향으로 진화할 것으로 기대됨

인체 vs 배터리

인체 건강 검진



James Mortimer, VO2Max – What is it and Does it Matter?

주요 지표에 대해 많은
사람으로부터 데이터 축적

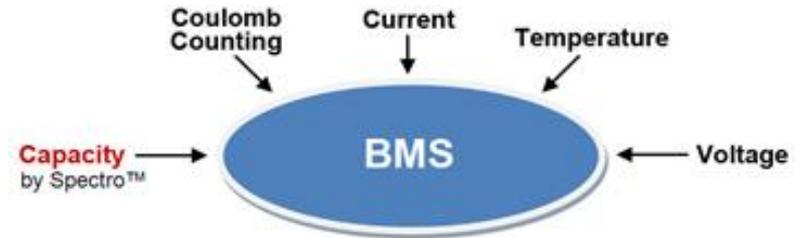


각 지표에 대해 정상 범위 설정



신체 나이 도출

배터리 건강 검진



주요 지표에 대해 데이터
축적하여 정상 범위 설정



주요 지표 측정 및 비교



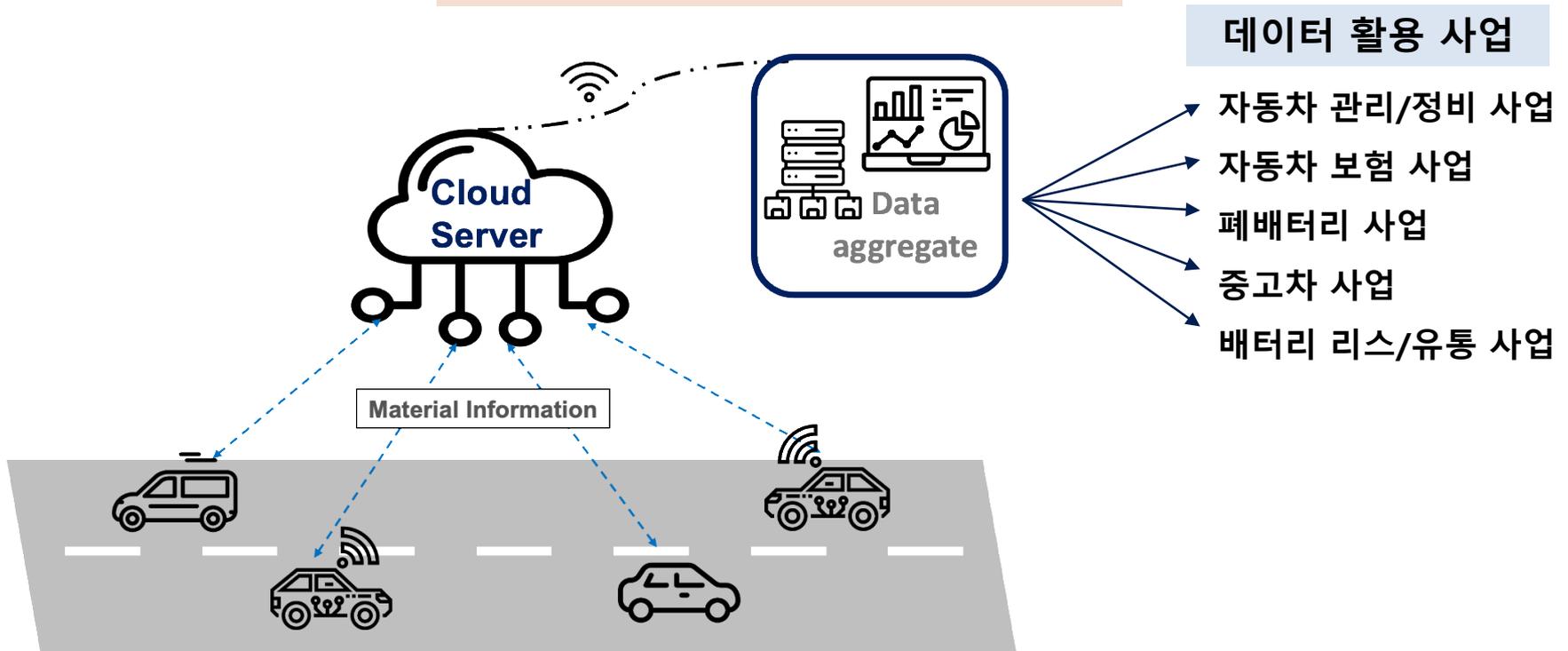
건강도(SOH) 도출



Data!

Who will have data?

BMS-to-Cloud



- 데이터 소유권 관련 업체 간 다른 시각
- 법규상 제공해야 하는 데이터 기준 상향화: 안전진단 지표 제공 의무

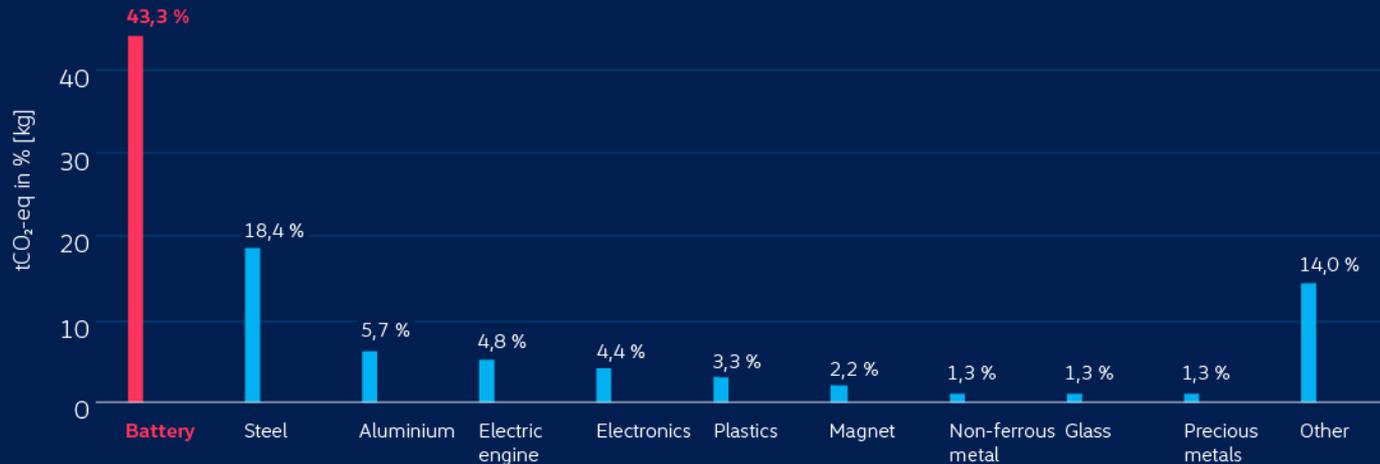
ESG 관점

전기차는 탄소 배출을 덜 하는가?

전기차(VW ID.3) 생산 공정에서의 CO₂ 배출량

Hot spots in the production process of the Volkswagen ID.3

The battery causes over 40 percent of CO₂ emissions

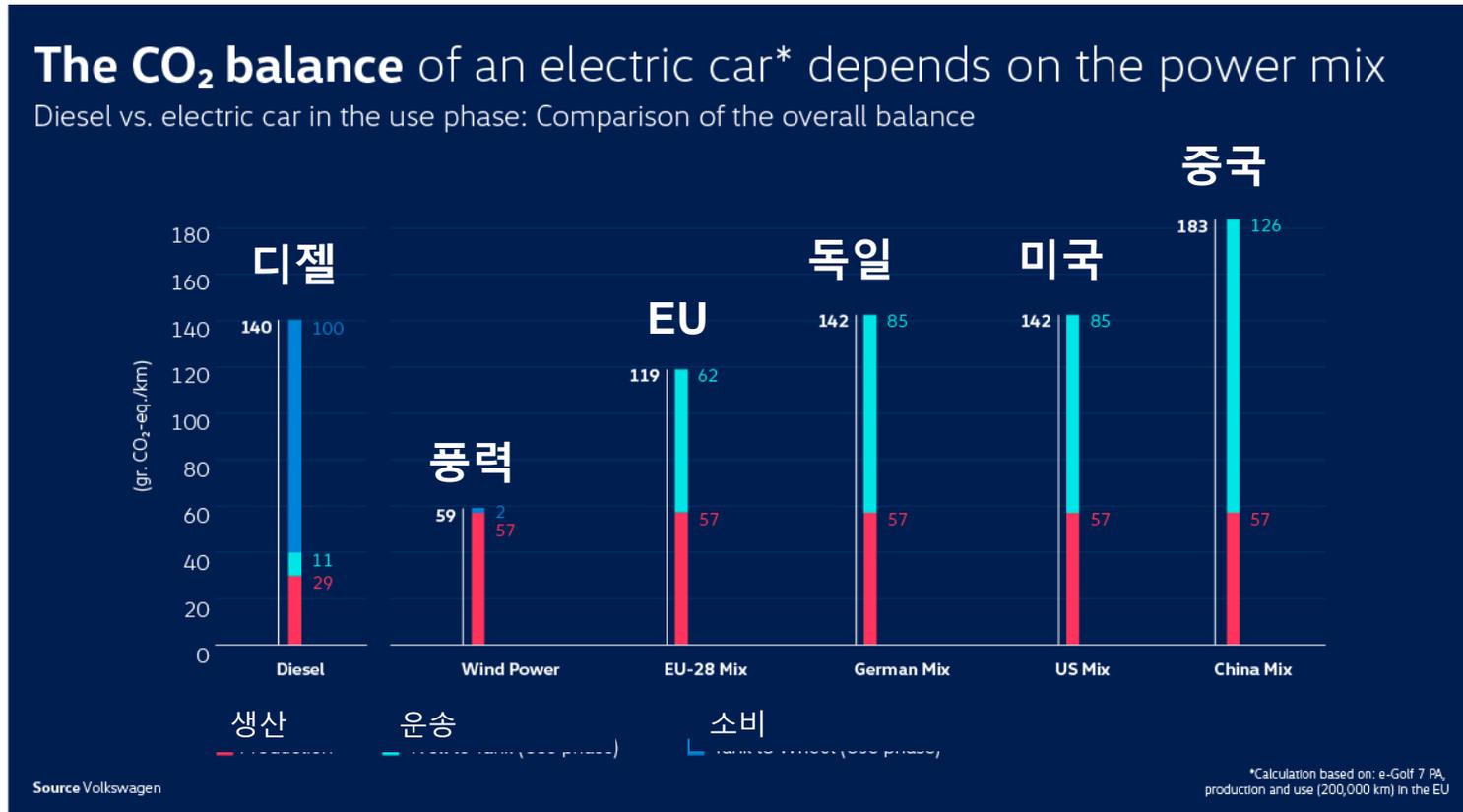


Source Volkswagen (preliminary calculation)

✓ 배터리 제조 과정에서의 CO₂ 배출량 검토 필요

전기차는 탄소 배출을 덜 하는가?

생산-운송-소비 단계에서 발생하는 CO₂ 배출 총량



✓ 친환경적인 에너지원 활용이 필수적

Does an electric vehicle emit less than a petrol or diesel?

The CO₂ balance of an electric car* depends on the power mix

Diesel vs. electric car in the use phase: Comparison of the overall balance



친환경적이고 경제성 있는 생산 역량!

Source Volkswagen

*Calculation based on: e-Golf 70kWh production and use (200,000 km) in the EU

✓ 친환경적인 에너지원 활용이 필수적

Summary and Outlook

정리 및 전망

- 리튬이온전지 vs. 차세대전지 (R&D 진행형)
- 차세대전지: 소재에서 공정 최적화로 진화 중
- 지능형 BMS 에 대한 기대감: Data 플랫폼 갖춰야
- ESG 관점에서의 기술/정책/생태계 구축 필요: “친환경 생산”
- 격동의 시기에 큰 기회가 있음